

Aula 17

Máquina de Estados Parte 1

SEL 0414 - Sistemas Digitais

Prof. Dr. Marcelo Andrade da Costa Vieira

Bibliografia

- Tocci, R. J.; Widmer, N. S. *Sistemas Digitais Princípios e Aplicações*. 8^a Ed., Prentice Hall, 2003.
- Taub, H. *Circuitos Digitais e Microprocessadores*. Mc.Graw-Hill, 1982.
- Nelson, V.P.; Nagle, H.T.; Carroll, B.D.; Irwin, J.D. – *Digital Logic Circuit Analysis & Design*, Prentice Hall, 1995.

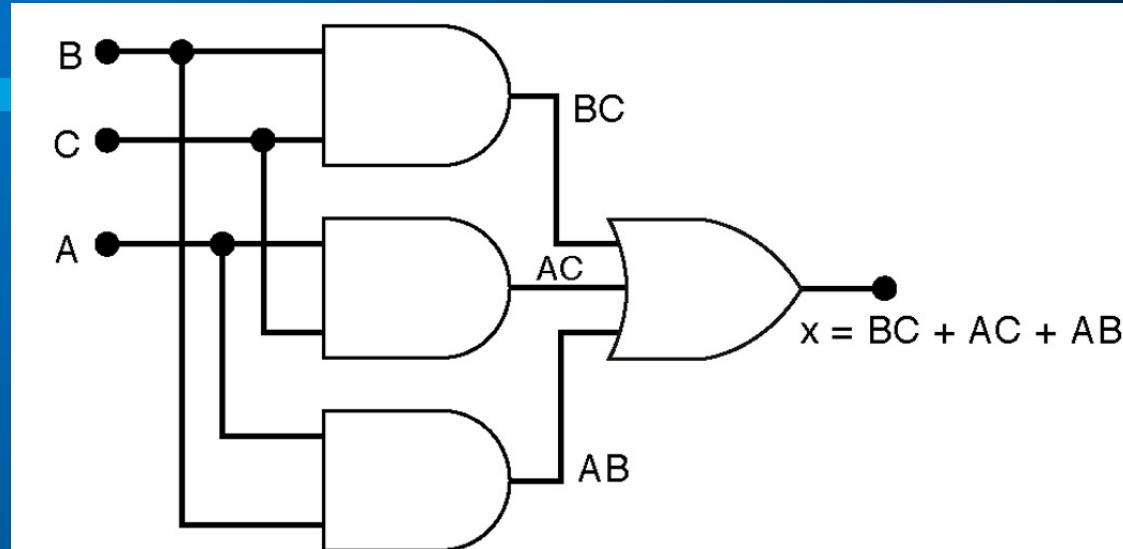
Combinacionais X Sequenciais

- **Circuitos Combinacionais:** o valor da saída no instante t depende apenas da combinação dos valores das entradas neste instante. Os estados anteriores não interessam.
- **Circuitos Sequenciais:** o valor da saída no instante t não depende apenas dos valores das entradas neste instante, mas também da sequência das entradas anteriores.

Combinacionais X Sequenciais

- Nem todos os projetos em sistemas digitais conseguem ser resolvidos utilizando circuitos combinacionais.
- Algumas vezes é necessário o conhecimento de um ou mais estados anteriores e também da sequência anterior para se calcular a saída do circuito.
- Exemplo: Contadores

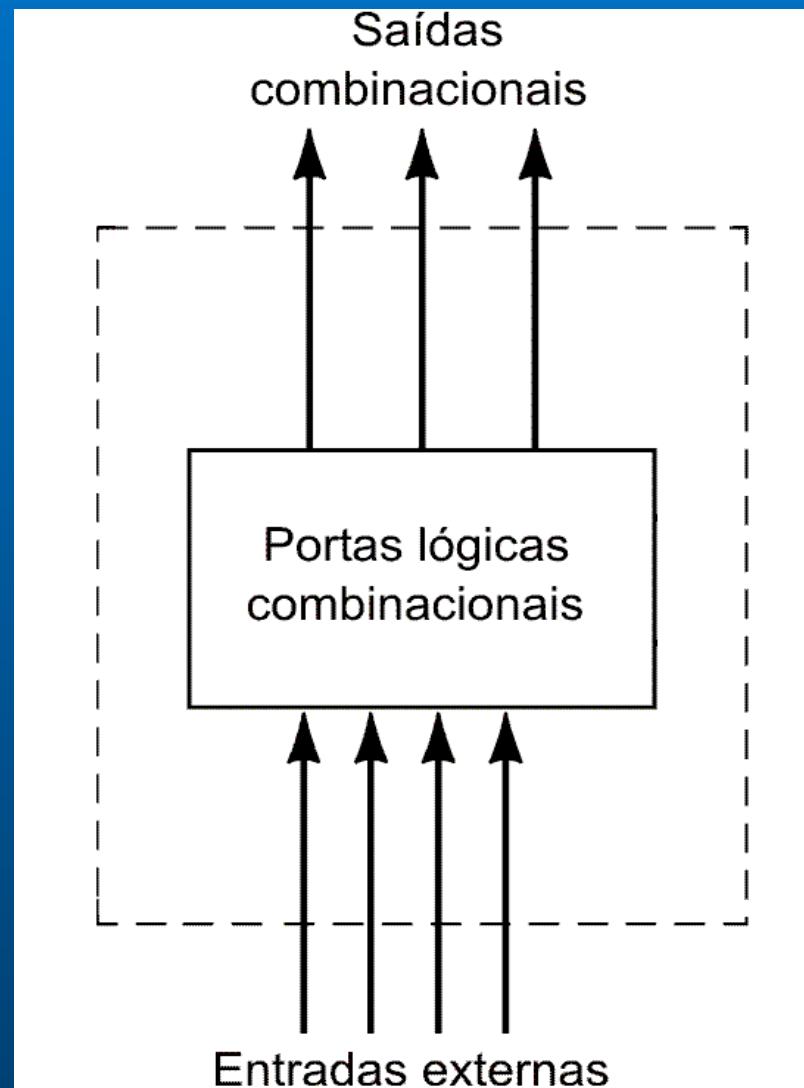
Circuitos Combinacionais



- Não há realimentação - não há memória;
- Tabela verdade – soma de produtos;
- Mapa de Karnaugh.

Circuitos Combinacionais

- Não há realimentação;
- Não há memória
- Ex:
 - Decodificador
 - Somador;
 - Multiplexador;
 - Portas lógicas.



Circuitos Sequenciais

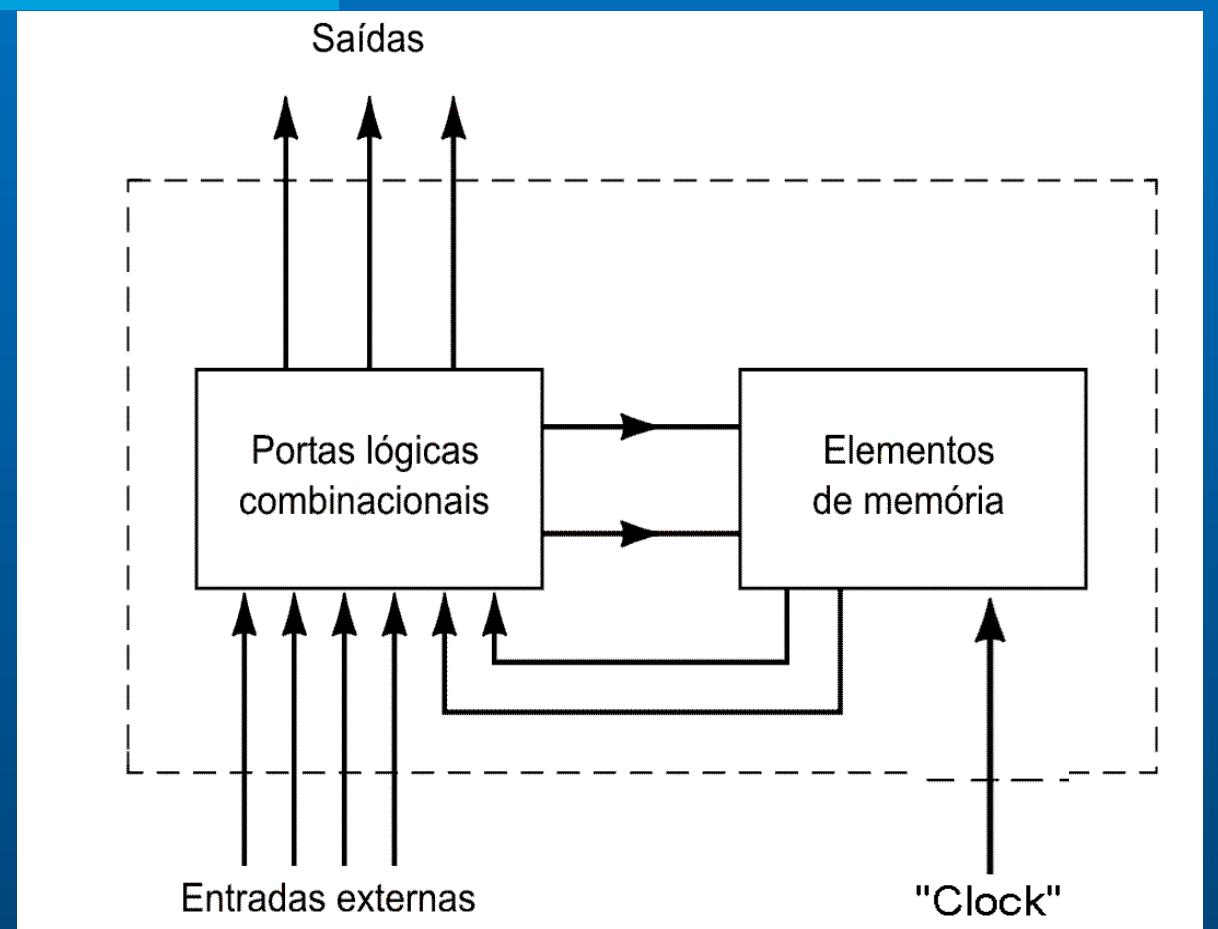
- Há realimentação;
- Elemento de Memória*;
- Dependem da “história” das entradas passadas.

**flip-flop*

Circuitos Sequenciais

Círculo Combinacional + Elemento de Memória

- **Memórias;**
- **Contadores;**
- **Registradores.**



Estado

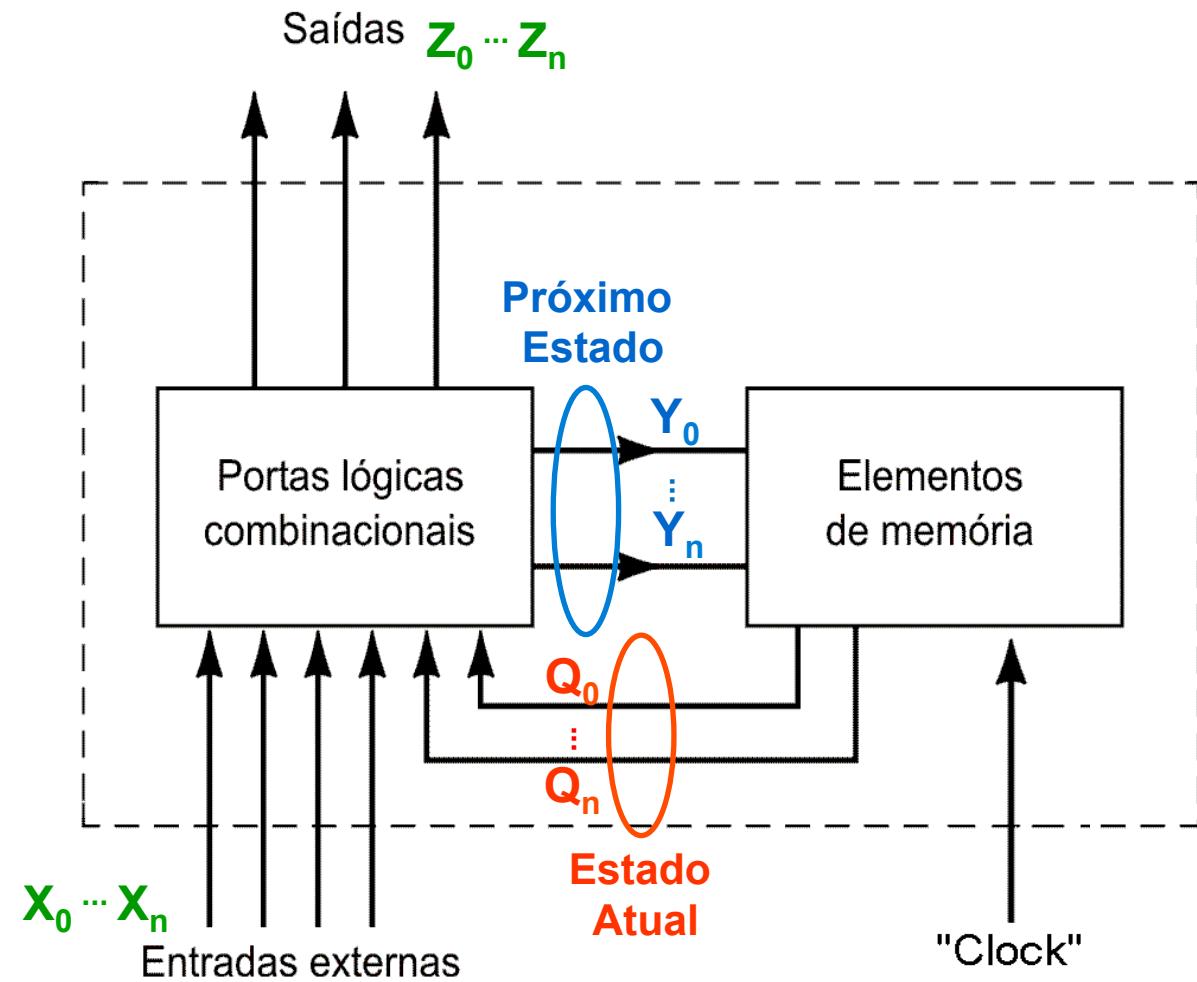
- Cada estágio através do qual o circuito sequencial avança;
- Em cada estado, o circuito armazena uma “recordação” de sua história passada, para saber o que fazer a seguir;
- Nem toda informação anterior é relevante
→ Nem todo estado precisa ser armazenado.

Composição de um Circuito Sequencial

- **Bloco de memória** → armazenar informações anteriores para definir o **estado presente**. Tem como entrada o **próximo estado**
- **Bloco combinatório** → definir qual é o **próximo estado** e a **saída externa**. Tem como entradas o **estado presente** e as **entradas externas**.

Circuitos Sequenciais

Circuito Combinatório + Elemento de Memória



Modelos de Circuitos Sequenciais

Máquina de Moore

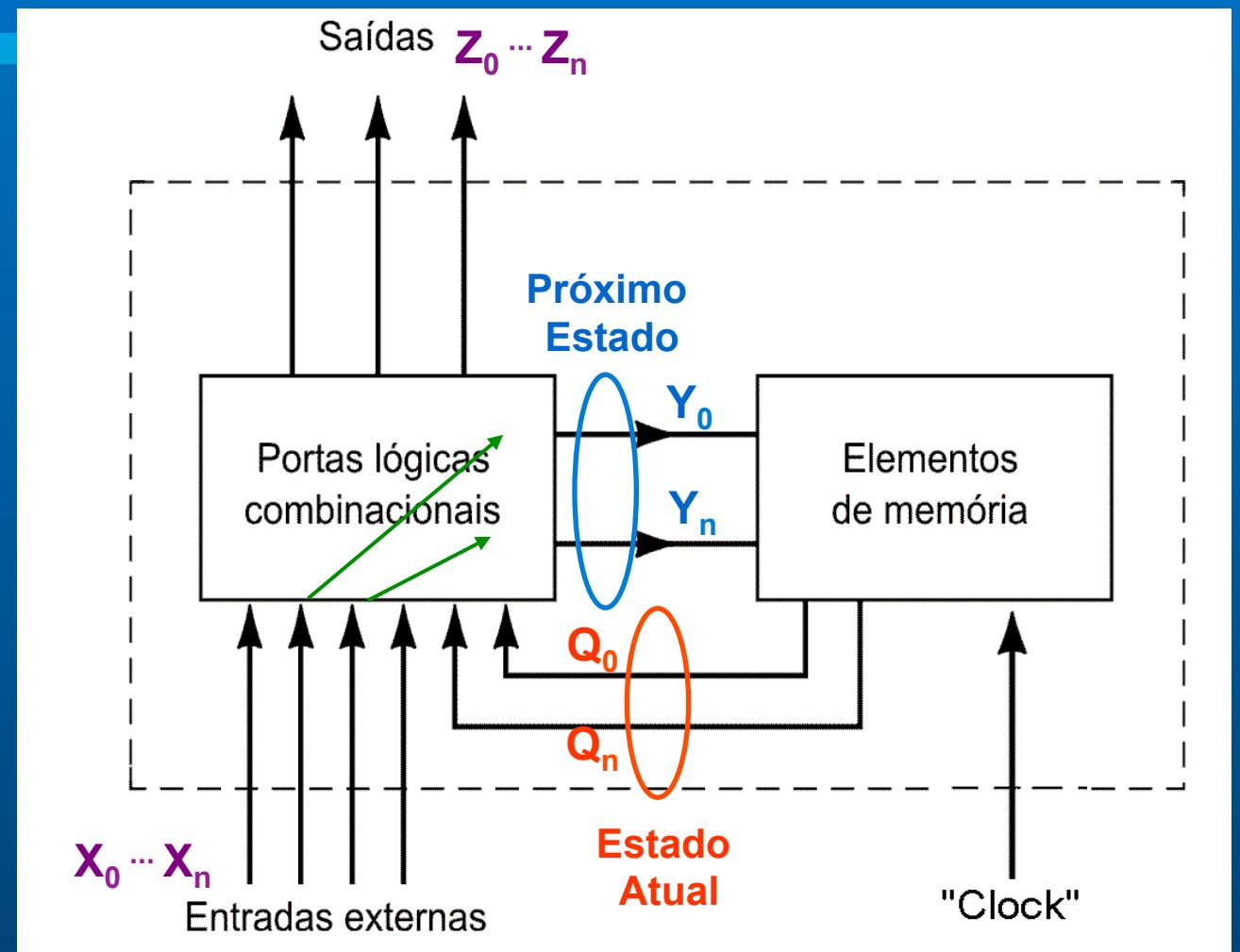
X

Máquina de Mealy

Modelos de Circuitos Sequenciais

Máquina de Moore

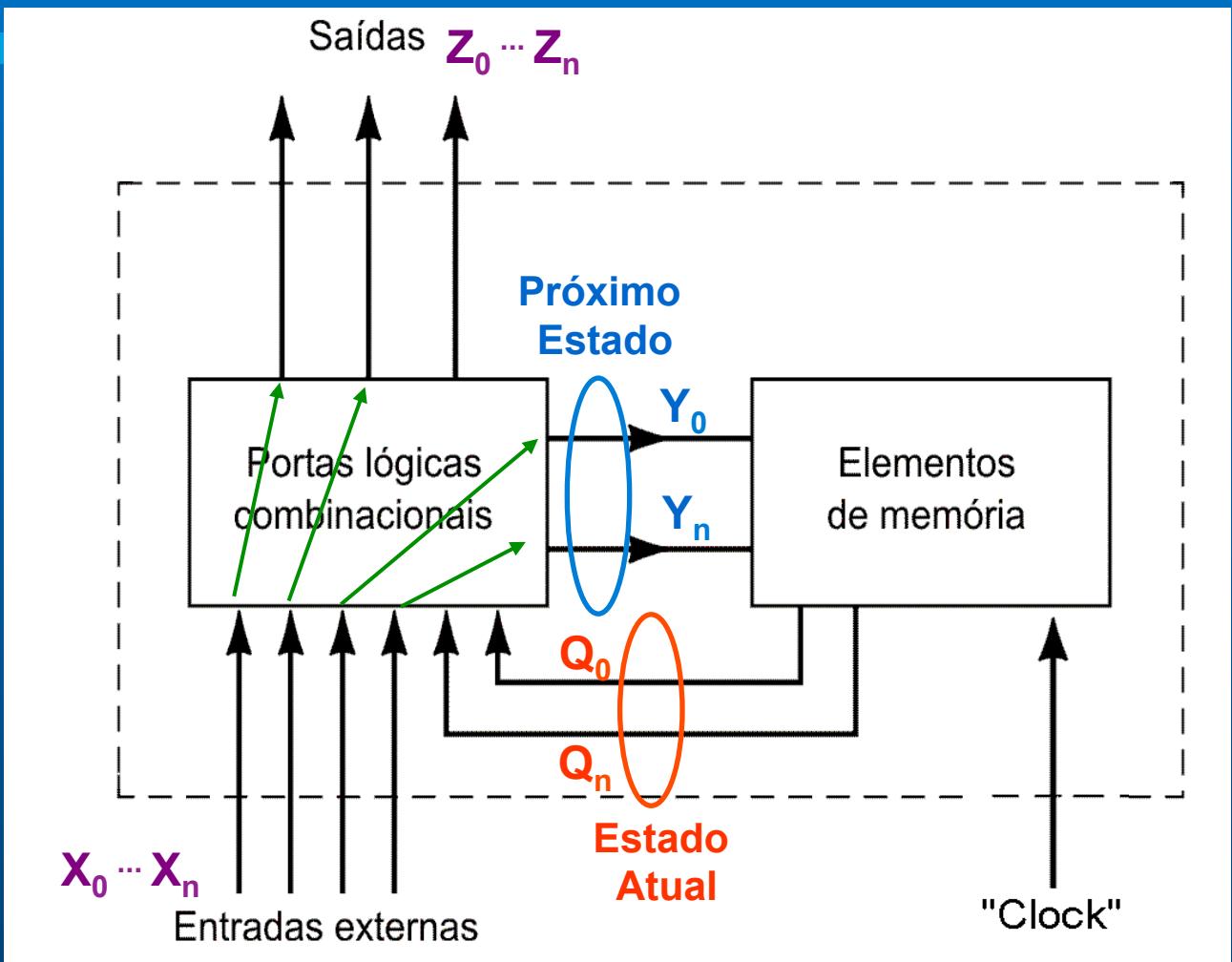
- As entradas não interferem diretamente na saída, somente nos estados futuros;
- As saídas dependem apenas do Estado Atual



Modelos de Circuitos Sequenciais

Máquina de Mealy

- As entradas interferem nos estados futuros e também na saída;
- As saídas dependem da entrada e do Estado Presente



Moore e Mealy

- Máquinas de Moore:

- As saídas são função apenas do estado presente (não das entradas);
- As entradas só interferem no próximo estado;
- As saídas variam sincronamente;
- Resposta mais lenta ou inexistente à variações na entrada.

- Máquinas de Mealy:

- As saídas são função do estado presente e das entradas atuais;
- As entradas interferem no próximo estado e também na saída;
- As saídas variam assincronamente com as entradas;
- Resposta mais rápida à variações na entrada.

Diagrama de Estados

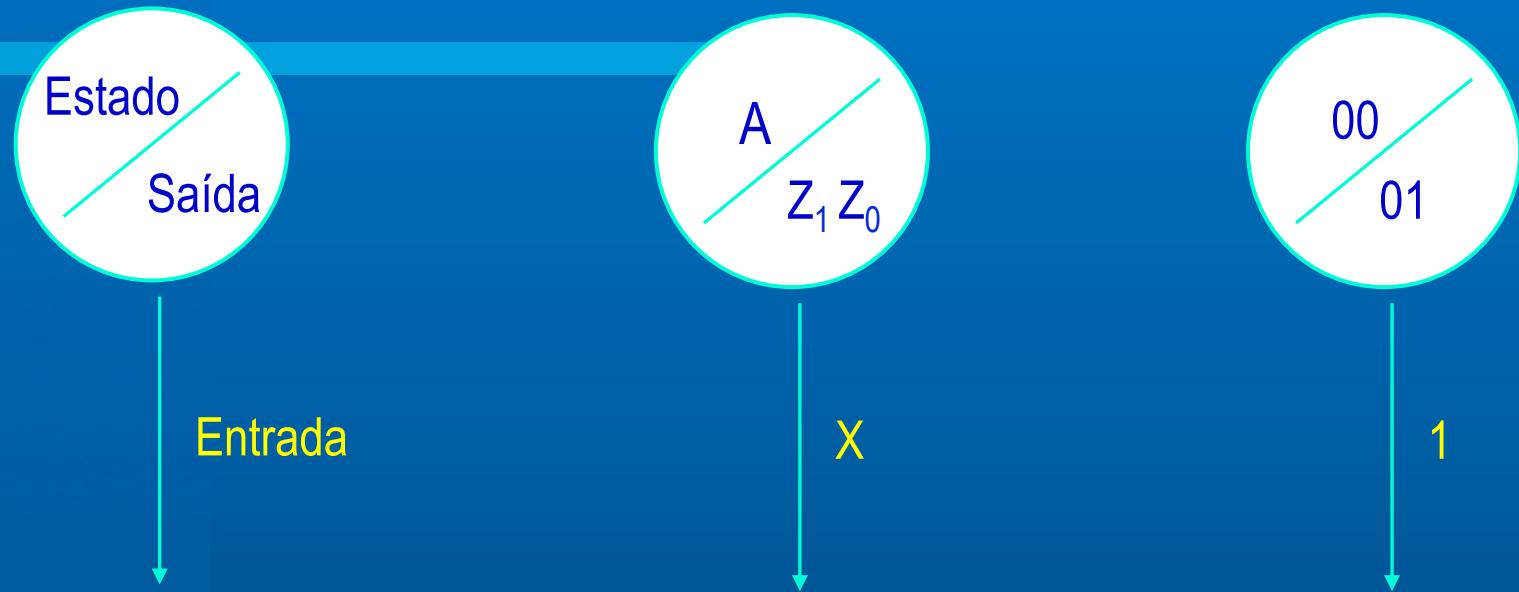
- O Diagrama de Estado ou Diagrama de Fluxo de Estado, é um **grafo** no qual cada **nó** representa um estado e cada **arco** representa uma transição de estados (**fluxo**);
- A cada pulso de clock, o fluxo avança um estado;

Diagrama de Estados

O diagrama de estados tem formatos diferentes para cada um dos modelos:

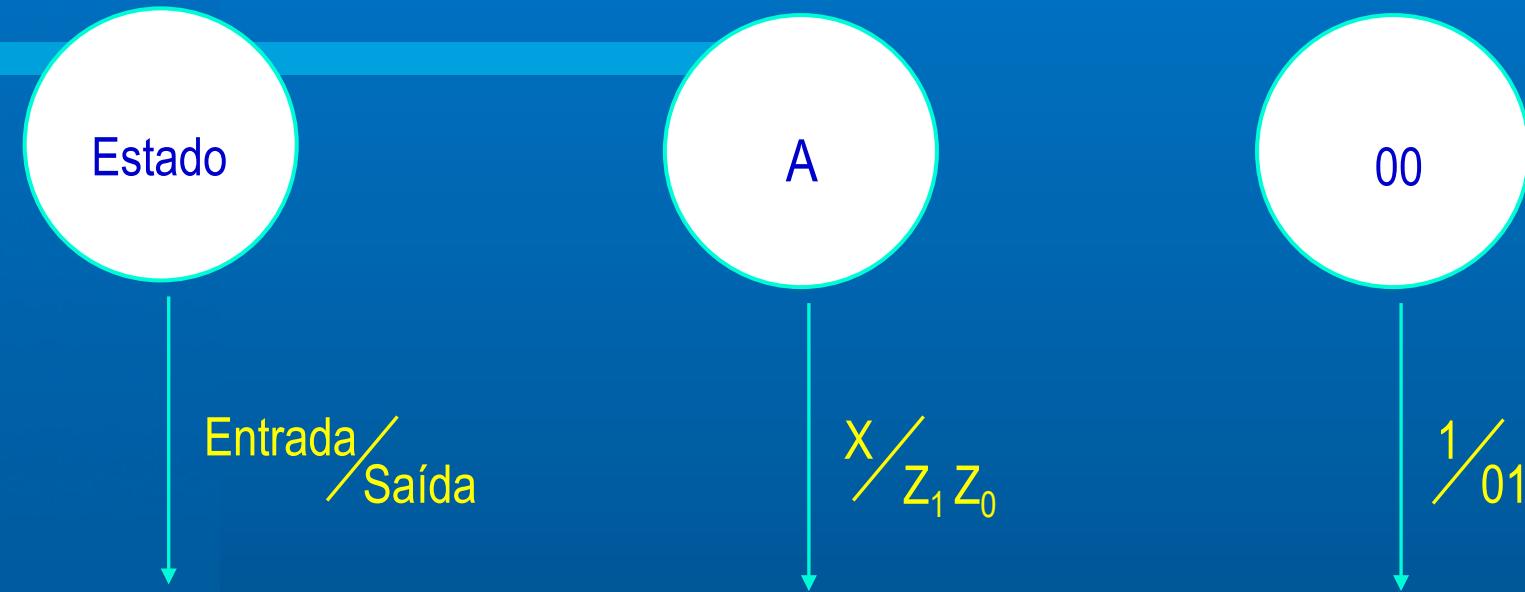
- Máquina de Moore
- Máquina de Mealy

Diagrama de Estados - Moore



- A saída depende exclusivamente do estado (Máquina de Moore);
- A entrada só interfere no próximo estado.

Diagrama de Estados - Mealy



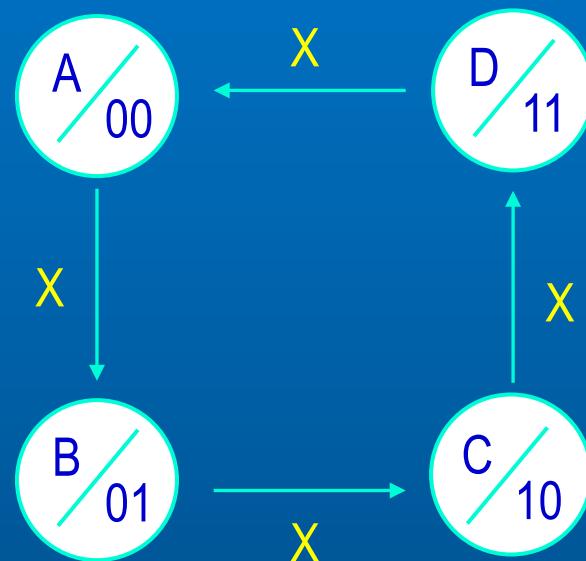
- A saída depende do estado presente e da entrada (Máquina de Mealy);
- A entrada interfere no próximo estado e na saída.

Exemplo 1: Contador Crescente Módulo 4

Tabela de Transição de Estados

Estado Atual	Saída $Z_1 Z_0$	Próximo Estado
A	0 0	B
B	0 1	C
C	1 0	D
D	1 1	A

Diagrama de Estados



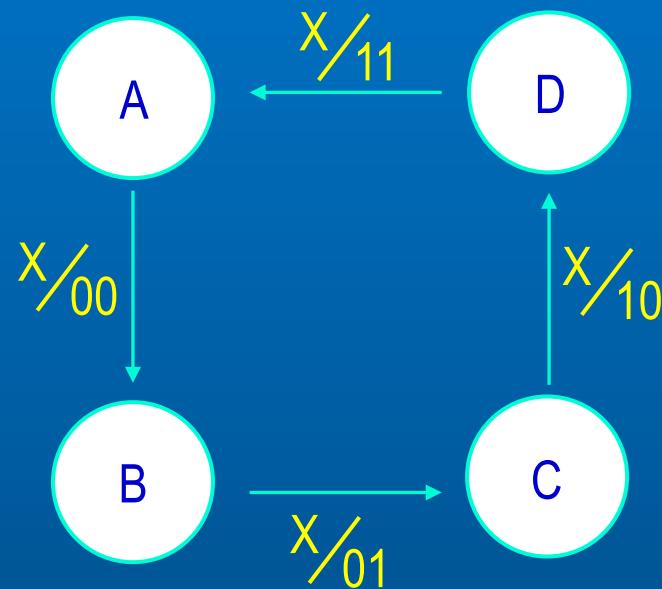
- Máquina de Moore
- Modelo simples – não tem entrada
- Apenas 1 arco de fluxo

Exemplo 1: Contador Crescente Módulo 4

Tabela de Transição de Estados

Estado Atual	Saída $Z_1 Z_0$	Próximo Estado
A	0 0	B
B	0 1	C
C	1 0	D
D	1 1	A

Diagrama de Estados



- Máquina de Mealy
- Modelo simples – não tem entrada
- Apenas 1 arco de fluxo

Moore ou Mealy?

- Em geral, a versão Mealy de um circuito sequencial será mais econômica de componentes físicos (*hardware*) do que a versão Moore;
- Como a saída depende da entrada, valores incorretos na entrada durante o ciclo de “clock” podem afetar a saída;
- Isso pode não ocorrer na versão Moore, pois alterações na saída e no estado só ocorrem na transição do “clock” (melhor sincronismo)

Exemplo de Projeto de Circuito Sequencial

Exemplo

- Observar uma fileira de 3 lâmpadas;
- As lâmpadas só acendem uma de cada vez;
- Se as lâmpadas acenderem na sequência 1 – 2 – 3, deve-se soar um alarme.

1



1



2



3

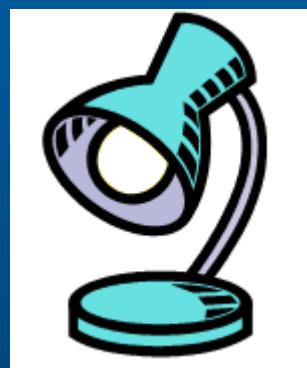
ALARME !

Exemplo

- A sequência deve ser analisada.
- Se a condição 1-2-3 não for observada, despreza-se até a lâmpada 1 acender novamente;
- Exemplo: sequência: 1 2 2 1 3 2 1 2



1



2



3

Exemplo

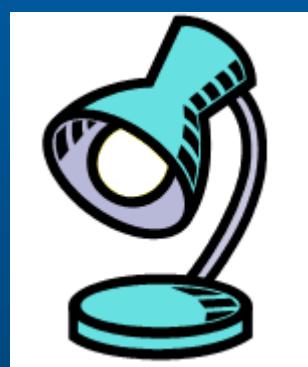
- Quantas Entradas? 4

- 00 – nenhuma lâmpada acende
- 01 – lâmpada 1 acende
- 10 – lâmpada 2 acende
- 11 – lâmpada 3 acende

2 bits



1



2



3

Exemplo

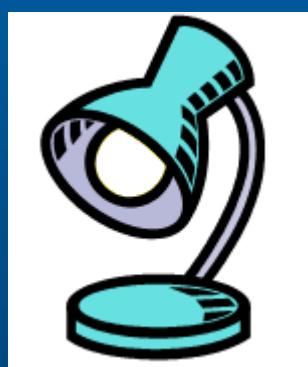
- Quantas Saídas? 2

- 0 – nenhum alarme toca
- 1 – alarme toca

1 bit



1



2

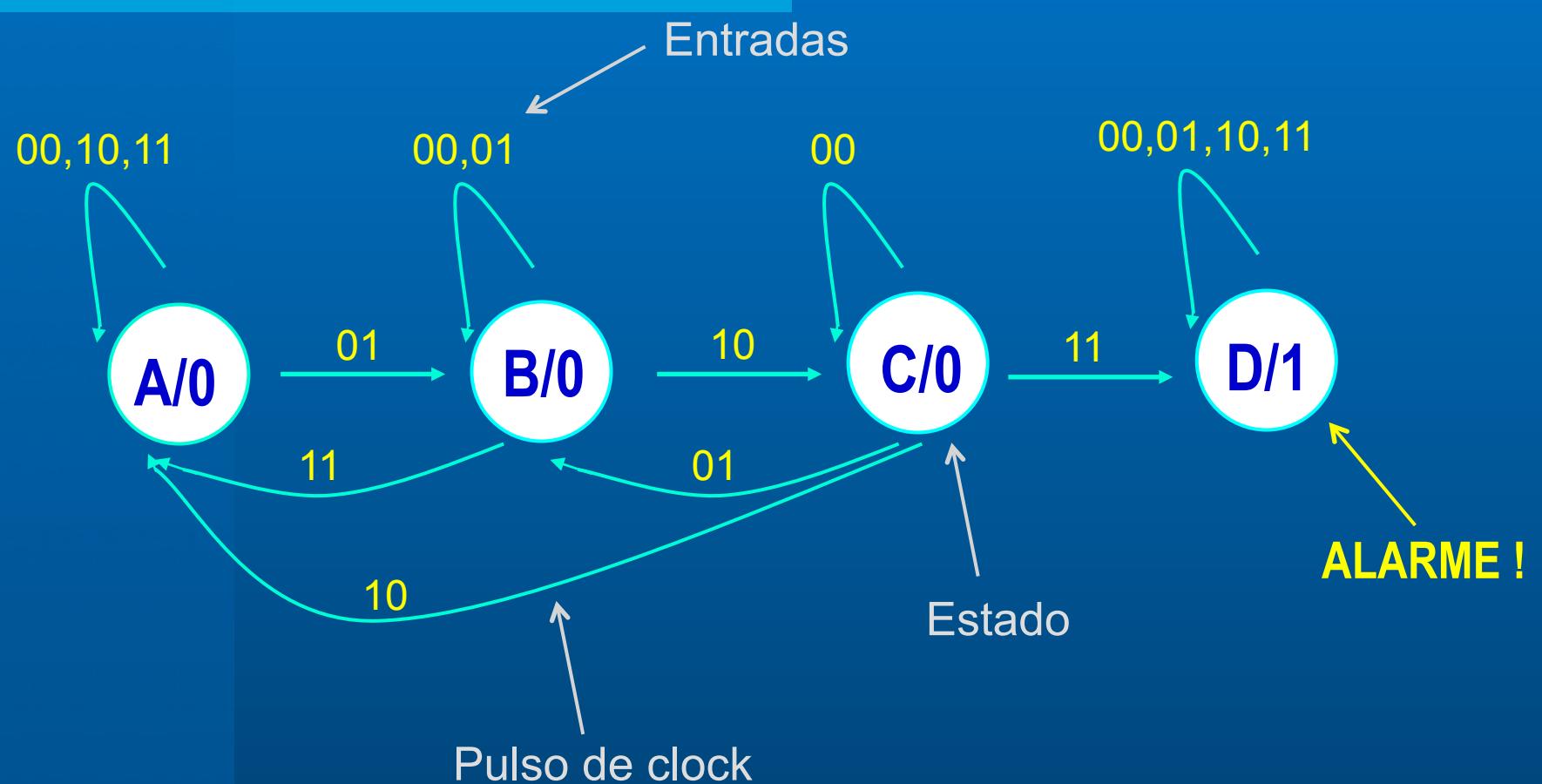


3

Diagrama de Estados

Máquina de Moore

Diagrama de Estados - Moore



Exemplo de Projeto de Circuito Sequencial

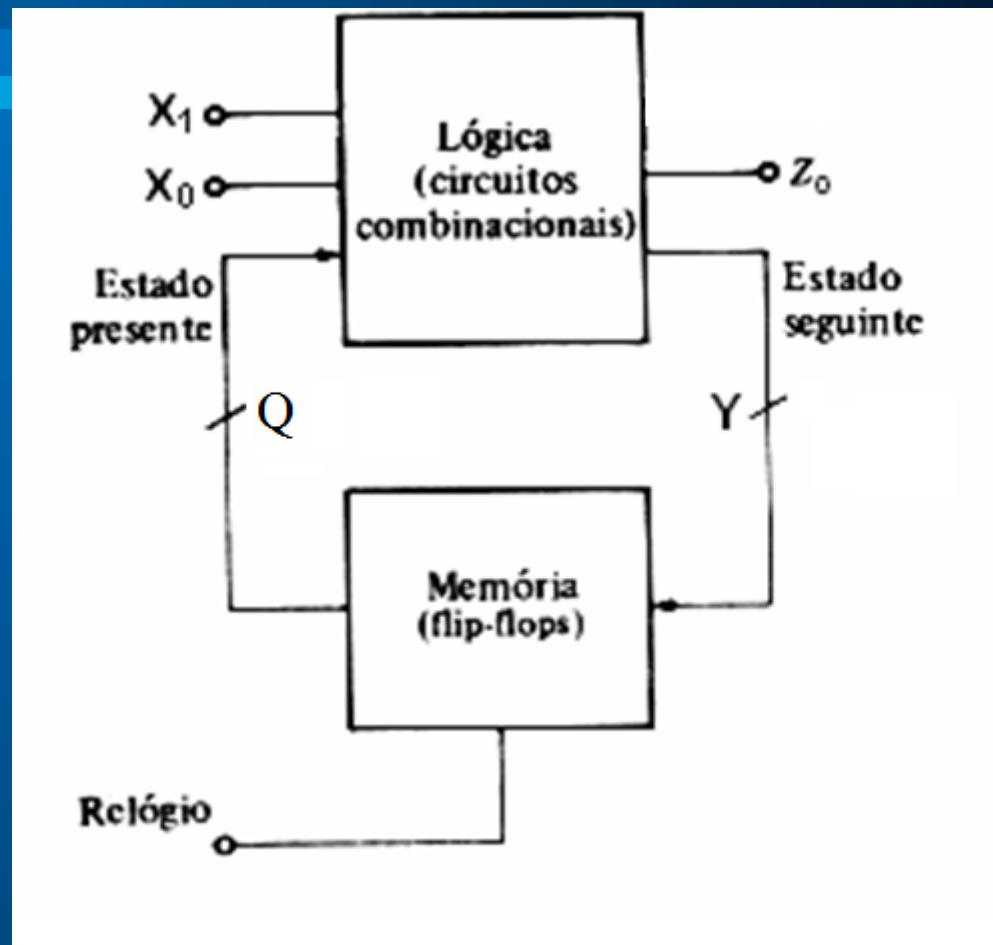
Máquina de Moore

Atribuição de Estados

Formas de Representação

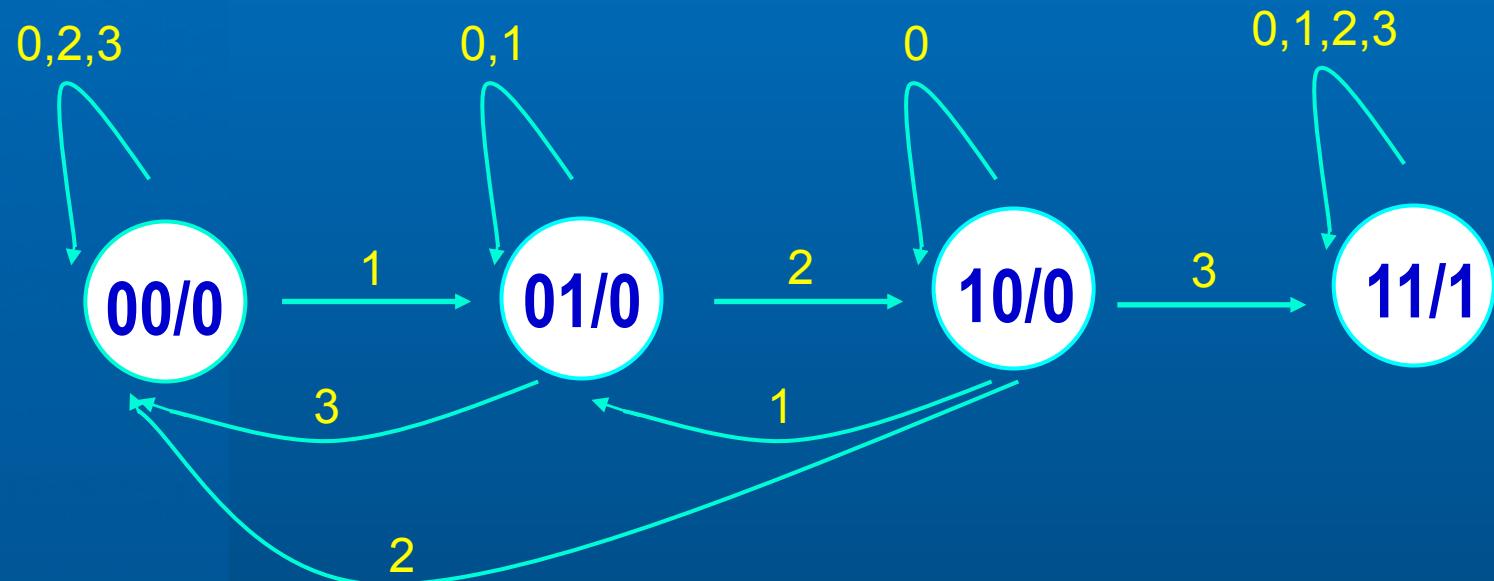
Tabela de Atribuição de Estados

Estado	Flip-Flop $Q_1 Q_0$
A	0 0
B	0 1
C	1 0
D	1 1



Saídas dos Flips-Flops (Q) = Estado Presente (y) = Saída (Z)

Diagrama de Estados



Atribuição das Entradas

Formas de Representação

Tabela de Entradas

Entrada	$X_1 X_0$
0	0 0
1	0 1
2	1 0
3	1 1

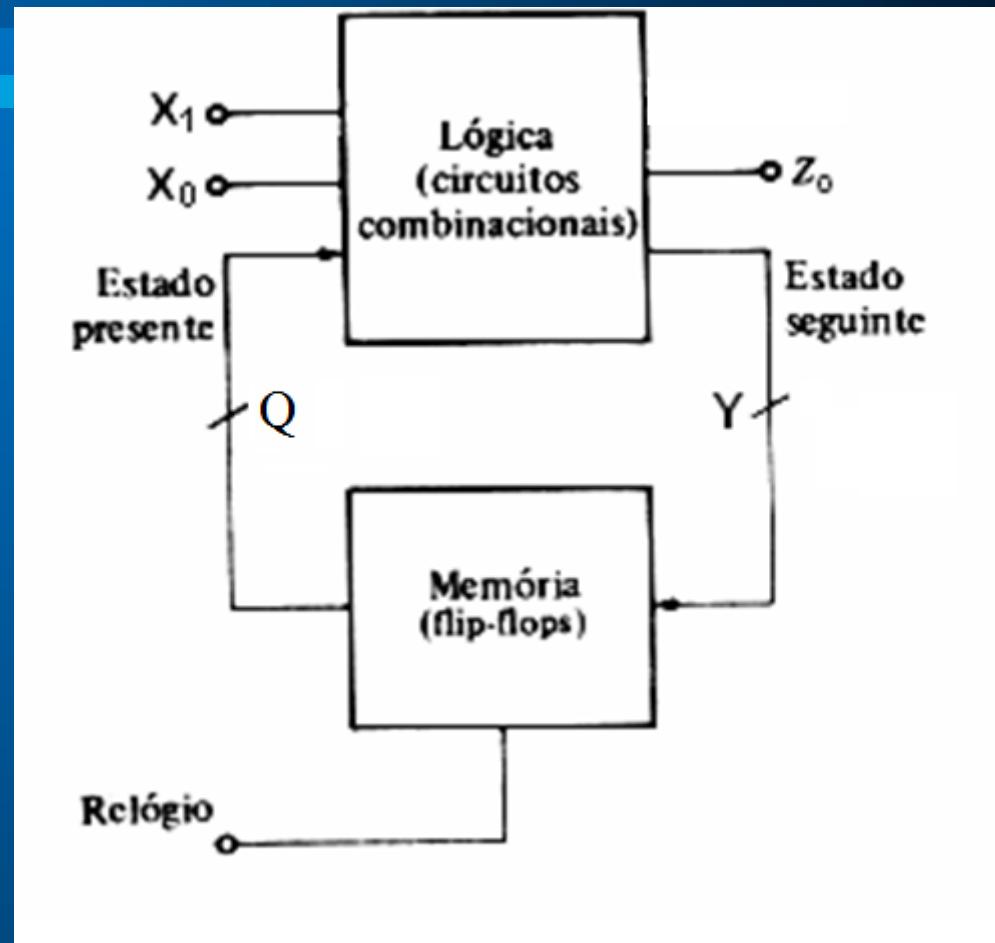
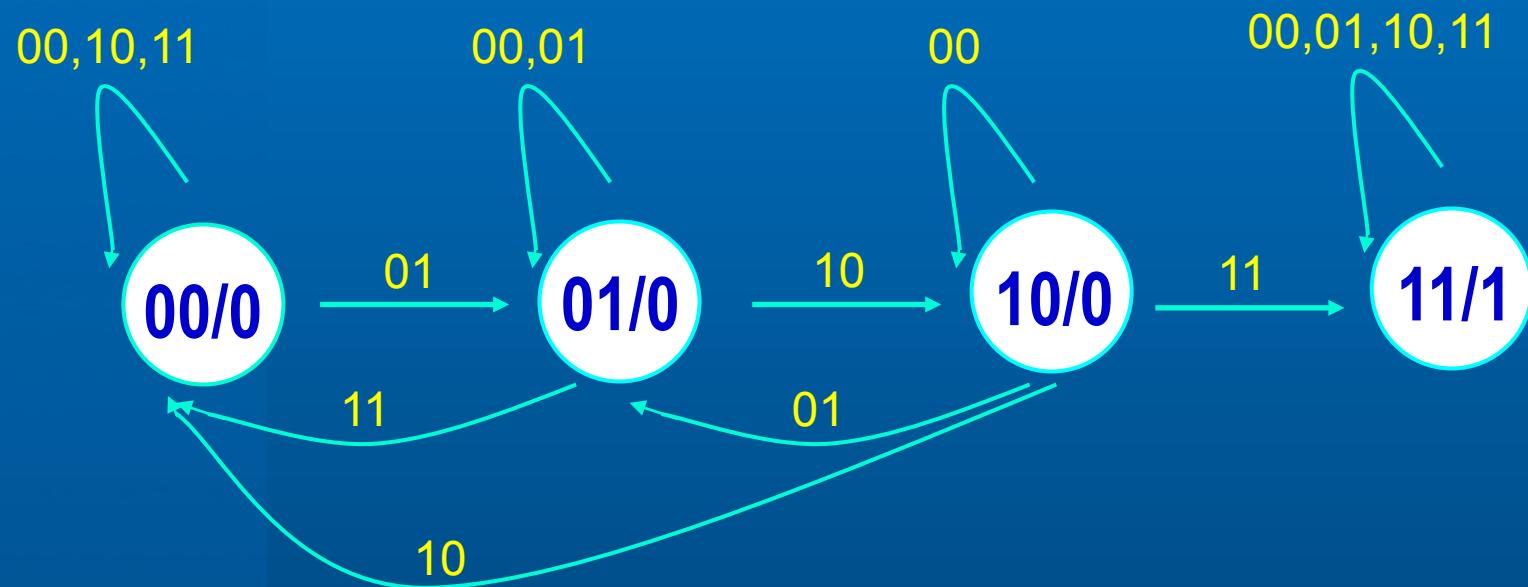


Diagrama de Estados Final



Síntese do Circuito Sequencial

- A partir do diagrama de estados, escreve-se a Tabela de Transição de estados e a Tabela de Saída.
- A partir dessa Tabela, projeta-se o circuito sequencial escolhendo qual o tipo de FF que será utilizado (RS, JK, D ou T)
- Circuito combinatório: portas lógicas;
- Circuito de memória: Flip-Flops;

Síntese do circuito sequencial

Máquina de Moore

Circuito Sequencial - Lâmpadas

- 2 entradas (X_1, X_0)
- 1 Saída (Z_0)
- 2 Flip-Flops (Q_1, Q_0)

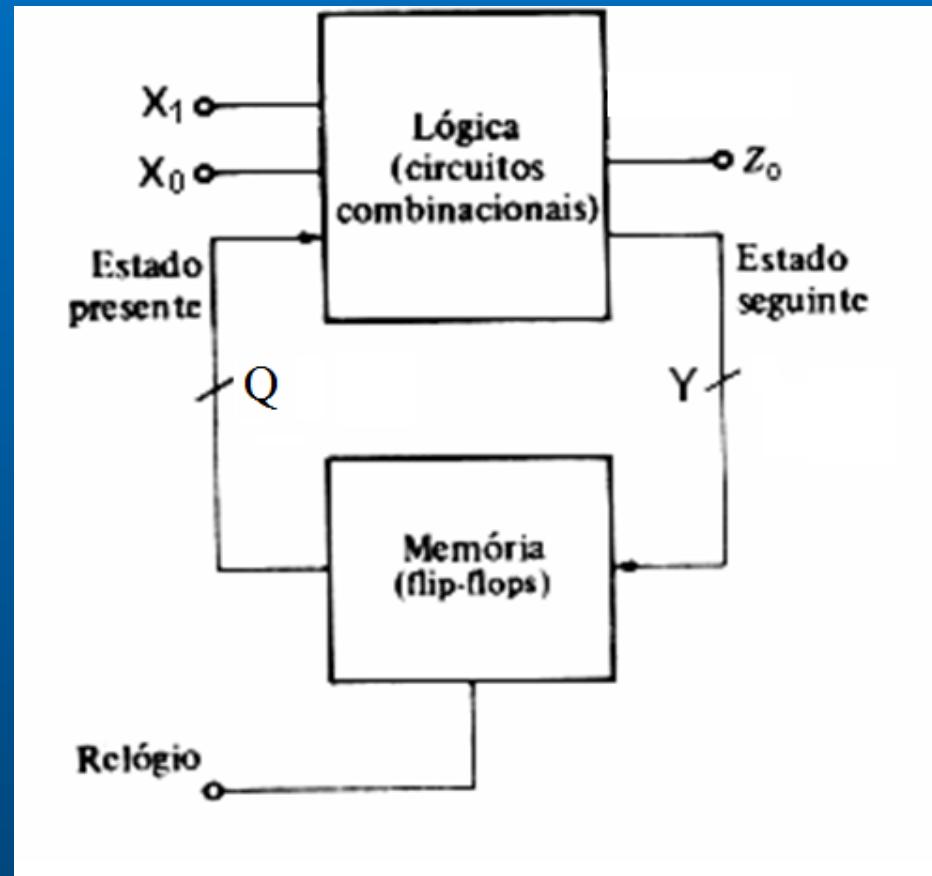


Tabela de Transição de Estados e de Saída

Estado Atual $Q_1 Q_0$	Entrada $X_1 X_0$	Próximo Estado $Y_1 Y_0$	Saída Z_0
A	00		
A	01		
A	10		
A	11		
B	00		
B	01		
B	10		
B	11		
C	00		
C	01		
C	10		
C	11		
D	00		
D	01		
D	10		
D	11		

Estado Atual $Q_1 Q_0$	Entrada $X_1 X_0$	Próximo Estado $Y_1 Y_0$	Saída Z_0
A	00	A	
A	01	B	
A	10	A	
A	11	A	
B	00	B	
B	01	B	
B	10	C	
B	11	A	
C	00	C	
C	01	B	
C	10	A	
C	11	D	
D	00	D	
D	01	D	
D	10	D	
D	11	D	

Estado Atual $Q_1 Q_0$	Entrada $X_1 X_0$	Próximo Estado $Y_1 Y_0$	Saída Z_0
A	00	A	0
A	01	B	0
A	10	A	0
A	11	A	0
B	00	B	0
B	01	B	0
B	10	C	0
B	11	A	0
C	00	C	0
C	01	B	0
C	10	A	0
C	11	D	0
D	00	D	1
D	01	D	1
D	10	D	1
D	11	D	1

Atribuição dos Estados

Estado Atual $Q_1 Q_0$	Entrada $X_1 X_0$	Próximo Estado $Y_1 Y_0$	Saída Z_0
00	00	00	0
00	01	01	0
00	10	00	0
00	11	00	0
01	00	01	0
01	01	01	0
01	10	10	0
01	11	00	0
10	00	10	0
10	01	01	0
10	10	00	0
10	11	11	0
11	00	11	1
11	01	11	1
11	10	11	1
11	11	11	1

Escolha do Flip-Flop

Transição de estados para FF JK

J	K	Q
0	0	Q_0
0	1	0
1	0	1
1	1	\overline{Q}_0

Transição $Q_n \Rightarrow Q_{n+1}$	Entradas J	Entradas K
0 \Rightarrow 0	0	X
0 \Rightarrow 1	1	X
1 \Rightarrow 0	X	1
1 \Rightarrow 1	X	0

Transição de estados para FF Tipo D

D	Q
0	0
1	1

Transição $Q_n \rightarrow Q_{n+1}$	D
0 → 0	0
0 → 1	1
1 → 0	0
1 → 1	1

Transição de estados para FF Tipo T

T	Q
0	Q_0
1	\overline{Q}_0

Transição $Q_n \rightarrow Q_{n+1}$	T
0 → 0	0
0 → 1	1
1 → 0	1
1 → 1	0

Divisão da Tabela em:

1. Tabela de Transição de estados
2. Tabela de Saída

1.

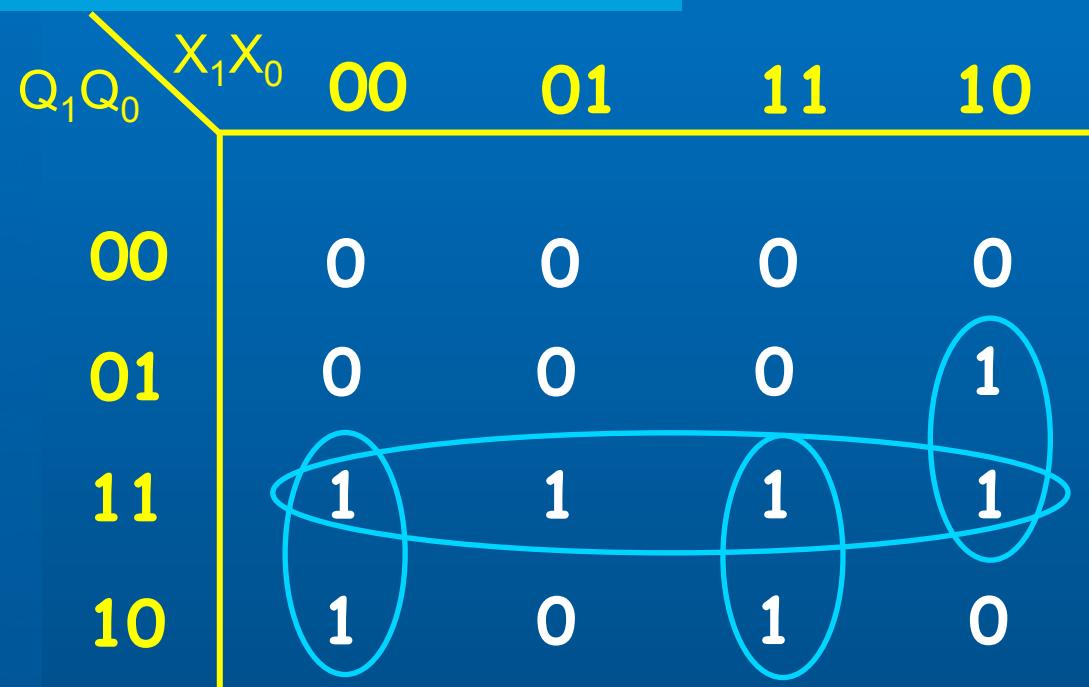
Tabela de Transição de estados

Estado Atual $Q_1 Q_0$	Entrada $X_1 X_0$	Próximo Estado $Y_1 Y_0$	Flip-Flop Tipo D $D_1 D_0$
00	00	00	
00	01	01	
00	10	00	
00	11	00	
01	00	01	
01	01	01	
01	10	10	
01	11	00	
10	00	10	
10	01	01	
10	10	00	
10	11	11	
11	00	11	
11	01	11	
11	10	11	
11	11	11	

Estado Atual $Q_1 Q_0$	Entrada $X_1 X_0$	Próximo Estado $Y_1 Y_0$	Flip-Flop Tipo D $D_1 D_0$
00	00	00	0 0
00	01	01	0 1
00	10	00	0 0
00	11	00	0 0
01	00	01	0 1
01	01	01	0 1
01	10	10	1 0
01	11	00	0 0
10	00	10	1 0
10	01	01	0 1
10	10	00	0 0
10	11	11	1 1
11	00	11	1 1
11	01	11	1 1
11	10	11	1 1
11	11	11	1 1

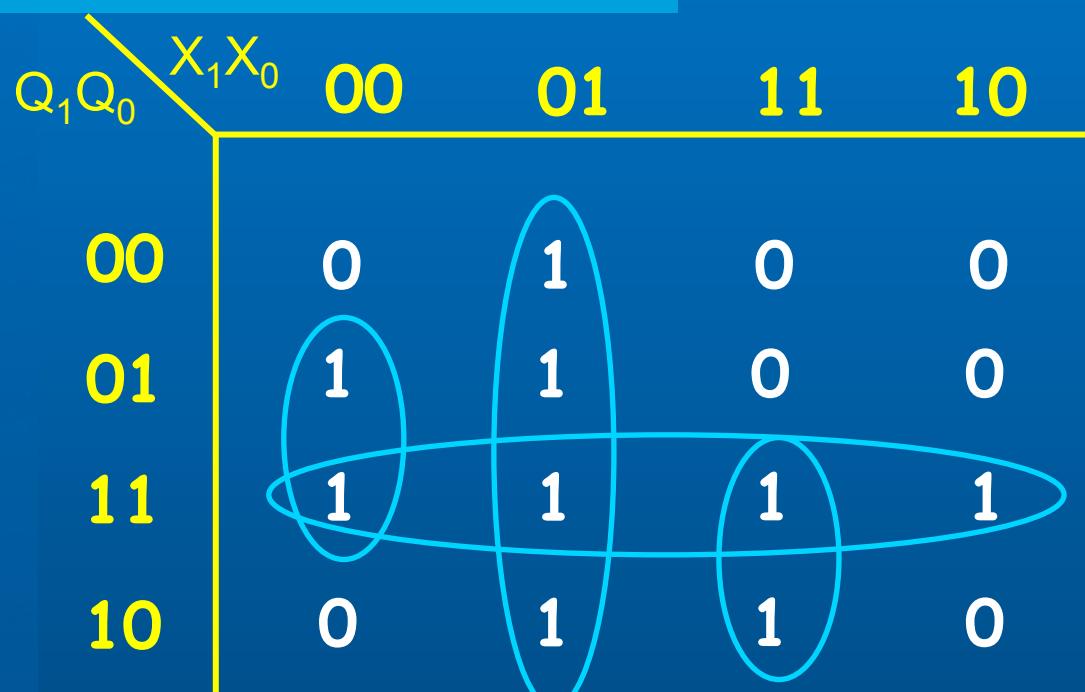
Mapas de Karnaugh

Flip-Flop D₁



$$D_1 = Q_1Q_0 + \overline{X}_1\overline{X}_0Q_1 + X_1X_0Q_1 + X_1\overline{X}_0Q_0$$

Flip-Flop D₀

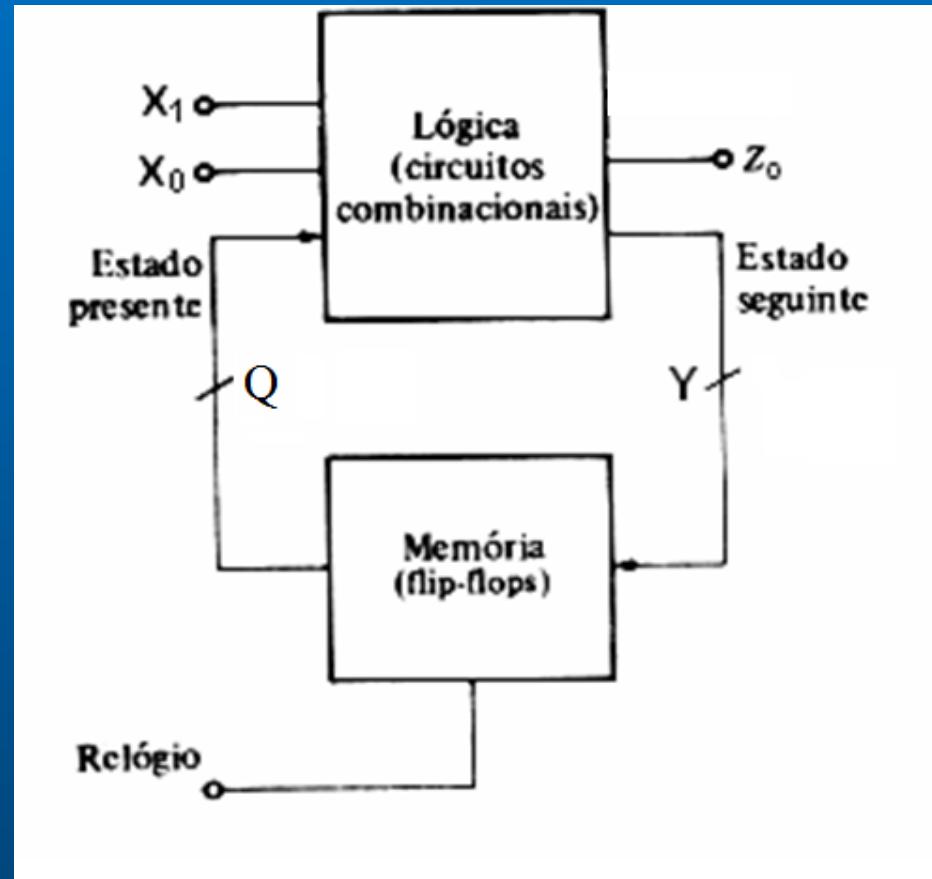


$$D_0 = Q_1 Q_0 + \bar{X}_1 X_0 + X_1 X_0 Q_1 + \bar{X}_1 \bar{X}_0 Q_0$$

2. Tabela de Saída

Máquina de Moore

- A Saída nunca depende do próximo estado
- A Saída não depende da entrada (máquina de Moore)
- A Saída só depende do estado atual



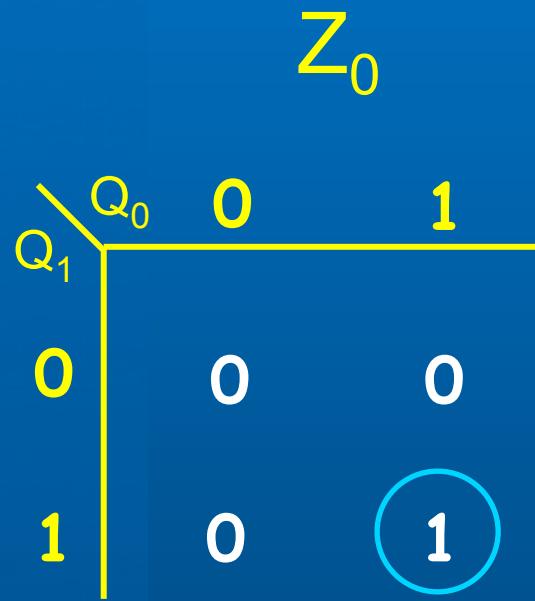
Estado Atual $Q_1\ Q_0$	Entrada $X_1\ X_0$	Próximo Estado $Y_1\ Y_0$	Saída Z_0
00	00	00	0
00	01	01	0
00	10	00	0
00	11	00	0
01	00	01	0
01	01	01	0
01	10	10	0
01	11	00	0
10	00	10	0
10	01	01	0
10	10	00	0
10	11	11	0
11	00	11	1
11	01	11	1
11	10	11	1
11	11	11	1

Estado Atual $Q_1\ Q_0$			Saída Z_0
00			0
00			0
00			0
00			0
01			0
01			0
01			0
01			0
10			0
10			0
10			0
10			0
11			1
11			1
11			1
11			1

Tabela de Saída

Estado Atual $Q_1 Q_0$	Saída Z_0
00	0
01	0
10	0
11	1

Saída Z_0



$$Z_0 = Q_1 Q_0$$

- Máquina de MOORE:
 - a saída depende exclusivamente do estado presente;
 - a entrada não interfere na saída;

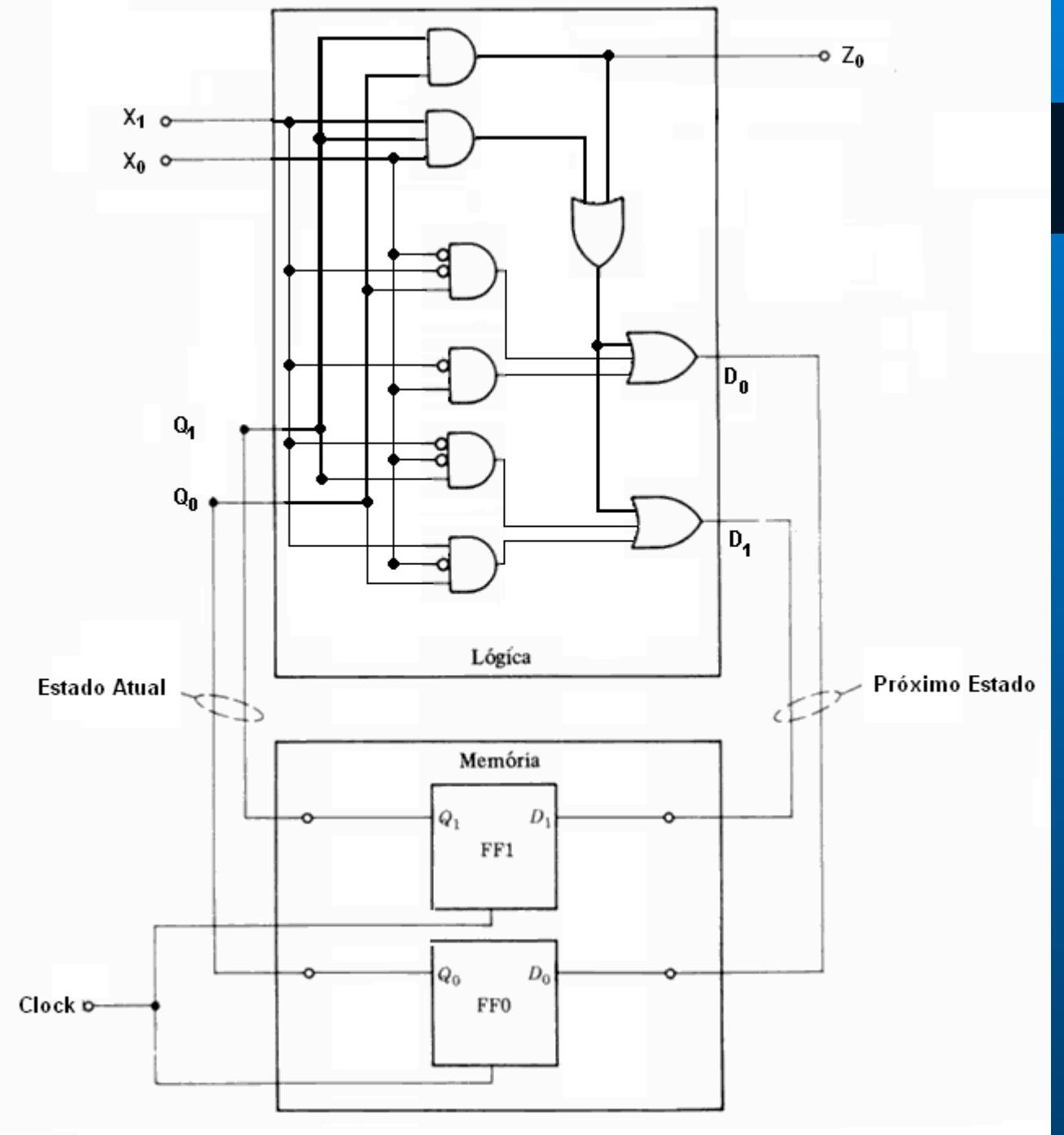
Circuito Sequencial: Máquina de Moore

$$D_1 = Q_1 Q_0 + \bar{X}_1 \bar{X}_0 Q_1 + X_1 X_0 Q_1 + X_1 \bar{X}_0 Q_0$$

$$D_0 = Q_1 Q_0 + \bar{X}_1 X_0 + X_1 X_0 Q_1 + \bar{X}_1 \bar{X}_0 Q_0$$

$$Z_0 = Q_1 Q_0$$

Circuito Sequencial: Máquina de Moore



FIM